

国外技术报道

金属结晶：从单晶到微晶

控制铸件的晶体和冷却速率对合金的宏、微观组织、最终力学性能有很大影响。根据期望，冷却金属可很慢或很快。为生产一种单晶体，在模具中以 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ 度/秒的冷却速率作定向结晶，最终的铸件形成一个近似网状的涡轮叶片。相反，以 10^6 度/秒的冷却速率快速结晶，则形成粉末或带状物。这些材料具有很细小的颗粒，而且合金元素和强化相的分布相当均匀。

正在对采用单晶高温合金的航天飞机主发动机高压涡轮泵的涡轮叶片进行鉴定。虽然叶片的稳态温度比飞机涡轮的低，但它能承受较大的疲劳作用。Rocketdyne正在测定均衡热压定高梯度结晶对单晶合金疲劳寿命的影响。

单晶体作为火箭和商用涡轮发动机的结构材料，具有十分宽广的前景。在室温下弹性模量的变化范围大约从 $\langle 100 \rangle$ 方向的 $1.24 \times 10^{12} \text{Pa}$ 到 $\langle 111 \rangle$ 方向的 $2.89 \times 10^{12} \text{Pa}$ ，括号中的数字表示晶体 X 、 Y 、 Z 轴的方向。除特殊方向外，泊松比，在拉力作用下试样的单位横向收缩率与单位轴向伸长率之比，在径向上不为常数。例如，对圆柱体施加一个拉力，其横截面将变成椭圆形。

在给定应变量的低循环疲劳试验中， $\langle 100 \rangle$ 方向立方晶体的寿命最长，接近 $\langle 111 \rangle$ 方向的晶体的寿命最短，接近 $\langle 110 \rangle$ 方向的晶体的寿命居中。模量乘应变量可归一到应力量，这样就可以把所有数据落在一条线上。因此，可用弹性模量和最终的应力量解释不同晶体方位的低循环疲劳性能的差别。

基于Ni-Cr-Al系的镍基高温合金的单晶体，在面心立方基体中(γ' 相)由占体积的60%的以 Ni_3Al (γ' 相)为基的有序面心立方金属化合物组成。在近822℃下，对新的单晶高温合金中的许多成分进行了蠕变试验， γ' 相的立方体粒子定向地向晶片内粗化。商业上主要合金的晶片组织是垂直于拉力方向。晶片结构在蠕变断裂过程中有减少稳态蠕变率和延长断裂时间的优点。这种晶片结构很稳定，在蠕变试验初期晶片结构一旦形成，就能阻止进一步粗化，直到第三阶段蠕变开始为止，此时，断裂前的延伸率可增加。

热处理对晶片式单晶体合金的蠕变持续强度有影响。任何一种合金的 γ 相和 γ' 相中的原子间距都差别很大，在熔融温度下油淬获得最长寿命。快速结晶过程是把金属、合金和金属化合物以每秒百万摄氏度速率从液体冷却到固体。如此快速结晶由于减少了粒度，使合金元素或杂质的离析最少，大大改善了均匀性，改变了材料的物理性质和金相性质。这样的微组织变化使物理和力学性质与以常规速率淬火的合金性质有很大差异。钢化玻璃就是一个例子。

Lewis把熔融金属从熔炉流经喷嘴喷射到旋转轮的轮面上，凝固的产物不等转轮转一周就被抛出轮外。这种简单生产程序对高速生产箔、膜、粉末或薄片具有很大潜力。然而，有很多因素影响产物的质量或物理形状，象熔料成分、熔料过热、炉内大气、熔炉组成、喷嘴结构外形、喷射压力、喷嘴到叶轮的间隙和叶轮的表面条件、成分、速度和温度等。

Lewis的设备由带有金属法兰盘密封的不锈钢真空室、涡轮分子真空泵和保证最大清洁度与无油气体的闭合回路、低温泵组成。在熔融期压力一般维持在 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ mm汞柱的范围。剩余气体分析仪连续地监测真空室内的气体成分，同时监测六种气体试样。个别气体浓度可测到低于10ppm。将选择的气体充满真空室以提供一种给定的、实际的或惰性的气氛。叶轮表面速度可连续变化到最大速76.2m/s。用无线电频率源把叶轮温度控制到427℃，或者给叶轮抽汲冷却剂来控制，温度用二色红外热探测器监控。各种不同材料的轮面可装在冷却的轮毂上以改变铸件表面的热传导性。

对火箭和先进的高超音飞行器来说，当前的目标应集中在高强度、高传导性铜合金上。最近已着手提高Ni-Al金属化合物的延展性和改善铌合金的抗氧化能力的研究。这种材料可用热压或均衡热压加工。

韩平摘译《Aerospace America》May 1987.

用于热机的固体润滑剂

航天飞行器和高效能发动机对润滑剂的热氧化稳定性有很多严格的要求，因此，研制一种新的润滑剂——固体润滑剂势在必行。

某些固体能起润滑作用，但是，已知的单一固体润滑剂不能适用于整个的轴承/密封温度范围。为适用于最高工作温度，需要预先采用一些新技术。因此，着重研制能自身润滑的复合材料，包括两种或多种固体润滑剂，以便用于宽广的温度范围。有两种典型固体润滑剂，即硫化钼(MoS_2)和石墨。不幸，硫化钼和石墨在343.3℃以上的空气中易氧化。如果将其加入到高温复合材料中，就可作为热循环低温部件的润滑剂，在热端和最后一个循环时才被分解。由于这个原因，Lewis还在继续寻找新的固体润滑剂，使其可在343.3℃以上工作。

还有一些研究过的材料是软质氧化物，象氧化铅(PbO)和化学稳定的氟化物(CaF_2 和 BaF_2)。但这些材料也不能适用于整个温度范围，它们在高温下能起润滑作用，在低温下则不能。然而，薄银膜从低温到大约493℃都能起润滑作用。银不具有高温下的动力承载能力，直到801℃的熔点时，它的氧化性是稳定的。

银和氟化物的复合材料能在反复热循环的宽广温度范围内起润滑作用。利用这种概念研制出两种高温合金的复合材料涂层：熔融-胶接涂层，约0.0254mm厚，和等离子喷涂层，约0.254mm厚。

熔融-胶接涂层的涂敷方法是，将银粉、氟化钙和氟化钡的水悬浮液用空气喷刷，然后在炉中用氢气或氩气在906℃下热处理。906℃正好是钙、氟化钡的氟化混合物的熔点。最后冷却完全胶接好的涂层。这种涂层含有显微银珠，分布在整个氟化物的基体中。用等离子喷涂各种成分的混合粉末形成较厚的涂层，然后用金刚石磨到0.254mm厚。这些涂层中的基体成分或是镍铬合金，主要作为粘合剂，或是金属-胶接的碳化铬，它具有高耐磨性。氟化物